

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Электроэнергетические системы и сети

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка концепции построения устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма

УДК 621.316.54-022.358

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7Г	Милованов Тимофей Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Абеуов Р.Б.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

Результаты освоения ООП

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.030 - Работник по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи.

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	<i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.</i>	20.031 - Работник по техническому обслуживанию и ремонту воздушных линий электропередачи. 20.035 Работник по осуществлению функций диспетчера в сфере оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике 20.032 Работник по обслуживанию оборудования подстанций электрических сетей
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международными стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.030 - Работник по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи. 20.031 - Работник по техническому обслуживанию и ремонту воздушных линий электропередачи. 20.035 Работник по осуществлению функций диспетчера в сфере оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике 20.032 Работник по обслуживанию оборудования подстанций электрических сетей 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P12	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международными стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 20.030 - Работник по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи. 20.031 - Работник по техническому обслуживанию и ремонту воздушных линий электропередачи. 20.035 Работник по осуществлению функций диспетчера в сфере оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике 20.032 Работник по обслуживанию оборудования подстанций электрических сетей

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ В.В. Шестакова
 «__» _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А7Г	Милованову Тимофею Евгеньевичу

Тема работы:

Разработка концепции построения устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма
Утверждена приказом директора (дата, номер) 25.01.2021, № 25-20/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i>	Объектом исследования является устройство автоматического повторного включения с контролем синхронизма
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Глава 1. Предметная область и задачи исследования 1.1 Проблемы эксплуатации существующих систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма 1.2 Современные способы и устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма 1.3 Задачи разработки и реализации

	<p>современных систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма</p> <p>1.4 Выводы по главе 1</p> <p>Глава 2. Теоретические основы построения систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма на основе принципа управления по программным траекториям движения технических объектов</p> <p>2.1 Основы общей теории управления движением технических объектов</p> <p>2.2 Основы построения программных траекторий движения генераторов и подсистем ЭЭС</p> <p>2.3 Расчет управлений при автоматическом повторном включении с контролем синхронизма</p> <p>2.4 Применение принципа адаптивности для решения задач автоматического повторного включения с контролем синхронизма</p> <p>2.5 Выводы по главе 2</p> <p>Глава 3. Общие принципы построения автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма</p> <p>3.1 Алгоритм работы автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма</p> <p>3.2 Структурно-функциональная схема автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма</p> <p>3.3 Аппаратная реализация автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма</p> <p>3.4 Выводы по главе 3</p> <p>Глава 4. Моделирование процесса автоматического повторного включения с контролем синхронизма</p> <p>4.1 Моделирование процесса автоматического повторного включения с контролем синхронизма</p> <p>4.2 Основные технические требования к устройству автоматического повторного</p>
--	--

	включения с контролем синхронизма 4.3 Выводы по главе 4
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Черемискина М.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Е.С.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2021
---	------------

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Абеуов Р.Б.	к. т. н., доцент		01.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A7Г	Милованов Т.Е.		01.02.2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.21	Предметная область и задачи исследования	20
01.03.21	Теоретические основы	10
01.04.21	Общие принципы построения	10
01.05.21	Построение математической модели	20
20.05.21	Моделирование процесса автоматического повторного включения с контролем синхронизма	20
25.05.21	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
26.05.21	Социальная ответственность	10
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Абеуов Р.Б.	к.т.н., доцент		01.02.2021

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		01.02.2021

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А7Г	Милованов Тимофею Евгеньевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: определение структуры и трудоемкости работ, построение диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: материальные затраты, амортизационные отчисления, заработная плата, отчисления на социальные цели, накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT- анализа научно-исследовательского проекта
3. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей
4. Диаграмма Ганта
5. График проведения и бюджет НИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСТН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		01.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7Г	Милованов Тимофей Евгеньевич		01.02.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А7Г	Милованову Тимофею Евгеньевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Разработка концепции построения устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: технология устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма. Область применения: проектные и эксплуатирующие организации.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 20.04.2021); 2. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. 3. ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 5. Требования к расположению рабочей станции и осанке оператора. 4. ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: 1. Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении. 2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи. 3. Отсутствие или недостаток естественного света.

	<p>4. Повышенный уровень электромагнитного излучения.</p> <p>5. Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли.</p>
3. Экологическая безопасность:	<p>Атмосфера: выделение вредных веществ бытовыми отходами.</p> <p>Гидросфера: загрязнение водоема бытовыми отходами.</p> <p>Литосфера: загрязнение почвы бытовыми отходами.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные ЧС: пожар, поражение электрическим током, землетрясение.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: поражение электрическим током</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		01.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7Г	Милованов Тимофей Евгеньевич		01.02.2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 74 страницы, 11 рисунков, 12 таблиц, 27 источников.

Ключевые слова: автоматическое повторное включение, контроль синхронизма, точная синхронизация, автоматическое устройство синхронизации, энергосистема.

Объектом исследования является энергорайон с электростанцией малой мощности.

Цель работы – разработка концепции построения устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма

В процессе выполнения исследования проводилось моделирование в программном комплексе Matlab.

В результате исследования разработан алгоритм и структурно-функциональная схема устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: наличие вычислительного и распределительного модулей.

Степень внедрения: требует дополнительных технологических решений.

Область применения: подстанции питающей и распределительной сети.

Экономическая эффективность/значимость работы: внедрение устройства позволит существенно повысить эффективность автоматического повторного включения с контролем синхронизма, сократить время синхронизации для поддержания непрерывного электроснабжения потребителей, тем самым уменьшить финансовые затраты.

В будущем планируется применение результатов работы в электросетевых компаниях.

Принятые сокращения

АПВ – автоматическое повторное включение;

АПВОС – автоматическое повторное включение с ожиданием синхронизма;

АПВУС – автоматическое повторное включение с улавливанием синхронизма;

АРВ – автоматический регулятор возбуждения;

АРЧВ – автоматический регулятор частоты вращения;

ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи;

ЛЭП – линия электропередачи;

ПТД – программная траектория движения;

СУ – система управления;

СУПТД – система управления программной траекторией движения;

УВ – управляющее воздействие;

УТС – устройство точной синхронизации;

ЭЭС – электроэнергетическая система

Содержание

Введение.....	15
Глава 1. Предметная область и задачи исследования	16
1.1 Проблемы эксплуатации существующих систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма	16
1.2 Современные способы и устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма.....	17
1.3 Задачи разработки и реализации современных систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма	19
1.4 Выводы по главе 1	20
Глава 2. Теоретические основы построения систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма на основе принципа управления по программным траекториям движения технических объектов ...	21
2.1 Основы общей теории управления движением технических объектов	21
2.2 Основы построения программных траекторий движения генераторов и подсистем ЭЭС.....	22
2.3 Расчет управлений при автоматическом повторном включении с контролем синхронизма	27
2.4 Применение принципа адаптивности для решения задач автоматического повторного включения с контролем синхронизма	30
2.5 Выводы по главе 2	31
Глава 3. Общие принципы построения автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма	32
3.1 Алгоритм работы автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма	32
3.2 Структурно-функциональная схема автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма	36

3.3 Аппаратная реализация автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма	37
3.4 Выводы по главе 3	37
Глава 4. Моделирование процесса автоматического повторного включения с контролем синхронизма.....	39
4.1 Моделирование процесса автоматического повторного включения с контролем синхронизма	39
4.2 Основные технические требования к устройству автоматического повторного включения с контролем синхронизма	42
4.3 Выводы по главе 4	43
Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
5.1 Анализ конкурентоспособности технического решения.....	44
5.2 SWOT-анализ.....	46
5.3 Планирование работ по НТИ.....	48
5.4 Расчет бюджета НТИ.....	53
5.5 Формирование бюджета затрат на разработку проекта.....	57
5.6 Ресурсоэффективность	58
5.7 Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	59
Глава 6. Социальная ответственность	61
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	61
6.2. Производственная безопасность	63
6.3. Экологическая безопасность	68
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	68
6.5. Выводы по главе «Социальная ответственность».....	69
Заключение	71
Список использованных источников и литературы.....	72

Введение

Современные электроэнергетические системы (ЭЭС) должны обладать высокой надежностью и обеспечивать бесперебойное электроснабжение потребителей. Для обеспечения этих требований применяются различные устройства релейной защиты и автоматики. Одним из средств повышения устойчивости ЭЭС при возникновении коротких замыканий является автоматическое повторное включение (АПВ).

Повреждения электроустановок в большинстве случаев неустойчивы, а значит самоустраиваются в течение короткого промежутка времени. Успешное АПВ оборудования, отключенного действием релейной защиты, приводит к восстановлению его работоспособности. По причине высокой эффективности АПВ обязательны к установке на всех линиях электропередачи (ЛЭП) от 1 кВ [1].

Особый интерес представляют загруженные магистральные линии, отключение которых приводит к изменению баланса мощностей, развитию аварии и нарушению устойчивости.

Целью данной работы является разработка общих принципов построения устройства АПВ с контролем синхронизма, применяемого на таких линиях.

Достижение поставленной цели осуществляется решением следующего ряда задач:

1. Анализ существующих устройств АПВ с контролем синхронизма и проблем, возникающих при их эксплуатации.
2. Определение теоретических основ, необходимых для построения АПВ с контролем синхронизма.
3. Разработка алгоритма работы устройства АПВ с контролем синхронизма.
4. Моделирование процесса работы АПВ с контролем синхронизма в ПК MATLAB.

Глава 1. Предметная область и задачи исследования

1.1 Проблемы эксплуатации существующих систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма

Одной из особенностей магистральных линий является наличие двухстороннего питания, поэтому для ликвидации повреждения требуется отключение ЛЭП с обеих сторон. По этой причине устройства АПВ также устанавливаются по обоим концам линии и требуют обеспечения определенного взаимодействия между собой.

В отдельных случаях отключение загруженной магистральной линии приводит к нарушению синхронной работы связываемых ею источников питания, поэтому повторное включение будет недопустимо если нет уверенности, что оно завершится ресинхронизацией разделившихся систем.

При таких условиях работы устройств АПВ необходима проверка на допустимость по условию синхронизма встречных напряжений двух энергосистем. В результате последовательных действий автоматики специальные органы проверки синхронизма накладывают запрет на повторное включение, если восстановление синхронной работы невозможно. В состав контролирующих органов входит реле, реагирующее на наличие напряжения на линии, и реле контроля синхронизма, которое проверяет значение разности векторов напряжений на линии и шинах. Общей задачей этих реле является исключение возможности несинхронных включений.

Если на одном конце линии отсутствует напряжение, то реле контроля напряжения подает сигнал на его включение. Другой конец линии повторно включается в работу только при соблюдении следующих условий [2]:

1. В начале и конце линии частота синхронна.
2. На противоположных шинах линии значения напряжения равны по абсолютному значению.
3. Значение угла сдвига фаз меньше предельно допустимого.

Особые условия работы АПВ с контролем синхронизма определяют ряд проблемных технических вопросов, возникающих при их эксплуатации:

1. Длительность процесса синхронизации зачастую высока, что приводит к существованию нежелательного режима работы ЭЭС в значительный период времени и увеличению продолжительности восстановления питания потребителей [3].
2. Возможность применения только при малых значениях скольжения, т.к. при больших значениях включение может привести к значительному росту угла между векторами напряжений.
3. Затягивание процесса синхронизации в связи с увеличением времени опережения при уменьшении скольжения.
4. Возможность отказа синхронизатора при большой разнице синхронизируемых напряжений по причине невозврата в исходное состояние.
5. Применение электромеханической элементной базы [4].

1.2 Современные способы и устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма

В современной электроэнергетике широко используются два типа устройств АПВ с контролем синхронизма, дополненных органами синхронизма: устройства АПВ с ожиданием синхронизма (АПВОС) и устройства АПВ с улавливанием синхронизма (АПВУС).

При ожидании совпадения режимных параметров, по условию параллельной работы, необходимым условием для повторного включения линии является сохранение в работе шунтирующих связей и сохранение синхронной работы генераторов. При отключении этих связей и при нарушении синхронизма органы контроля АПВОС запрещают повторное включение. Такое устройство АПВ позволяет осуществить повторное включение после ожидания наиболее подходящего момента, например, после затухания качаний, вызванных возмущением в ЭЭС, таким как короткое замыкание или отключение линии [5].

АПВУС применяется на линиях без шунтирующих связей или линиях с малой пропускной способностью, если их отключение приводит к нарушению синхронной работы частей ЭЭС. Органы контроля синхронизма этого устройства контролируют угловую скорость относительного вращения векторов разделившихся частей системы, обеспечивая посылку команды на повторное включение в определенном диапазоне разности частот с опережением момента совпадения фаз напряжений. Такое выполнение органов контроля позволяет производить успешное АПВ при скольжении, неизбежном в случае размыкания транзита, в результате улавливания наиболее удачного момента для подачи импульса в условиях нарушенного синхронизма [6].

В эксплуатации применяется несколько модификаций устройств АПВУС, причем наибольшее распространение получили устройства, в которых в качестве органа, контролирующего допустимость АПВ по условиям синхронизма, используется релейное устройство, действующее на принципе синхронизатора с постоянным углом опережения. Для микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматизации это связано с простотой алгоритма, что позволяет использовать небольшие вычислительные мощности.

Таким образом, основное отличие между устройствами АПВОС и АПВУС заключается в том, что первое осуществляет повторное включение либо при сохранении синхронизма после выдержки времени, либо после ожидания уменьшения скольжения до допустимых значений, а второе осуществляет работу в условиях нарушения синхронизма и при не уменьшающемся скольжении, посылая импульс на включение улавливая наиболее благоприятный момент.

При отключении одиночной транзитной линии, осуществляющей связь отдельной электростанции с системой, расхождение частот может оказаться столь значительным, что рассмотренные выше способы осуществления АПВ не смогут быть применены [7].

В большинстве таких случаев оказывается возможным и целесообразным производить АПВ линий в сочетании с действием устройств автоматики, обеспечивающих в цикле АПВ перевод генераторов отделившейся

электростанции в асинхронный режим или их отключение с гашением поля возбуждения и последующим автоматическим включением в работу методом самосинхронизации при успешном АПВ линии (АПВС).

В целом, современные устройства АПВ с контролем синхронизма обладают рядом недостатков, ограничивающих их применение, что определяет необходимость в нахождении более совершенной реализации механизма такого повторного включения.

1.3 Задачи разработки и реализации современных систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма

Одним из существенных недостатков широко распространенных устройств АПВ с контролем синхронизма является задержка по времени, которая образуется при ожидании совпадения режимных параметров разделившихся подсистем по условиям синхронизации.

Задачей разработки и реализации современных систем АПВ с контролем синхронизма является оптимизация длительности процесса синхронизации, направленная на повышения эффективности времени работы рассматриваемых устройств.

Возможным решением является разработка такой системы АПВ, целью работы которой станет не ожидание совпадения, а подведение параметров одной из разделившихся частей системы к параметрам другой с высокой точностью. Такой подход позволит существенно сократить время работы АПВ с контролем синхронизма, повысить устойчивость системы, надежность электроснабжения и обеспечит выполнение одного из основных требований к релейной защите и автоматике – быстродействия.

Для реализации такого решения подходит метод, в основе которого лежит принцип управления по программным траекториям движения технических объектов [8].

1.4 Выводы по главе 1

Современные способы реализации АПВ с контролем синхронизма находят применение в условиях работы с повышенными требованиями к надежности и устойчивости, что отрицательно сказалось на времени их действия.

Можно сделать вывод, что повышение быстродействия АПВ с контролем синхронизма – одна из главных задач, решением которой является разработка нового подхода к синхронизации разделившихся частей энергосистемы.

Глава 2. Теоретические основы построения систем автоматического повторного включения с контролем синхронизма на основе принципа управления по программным траекториям движения технических объектов

2.1 Основы общей теории управления движением технических объектов

В основе принципа управления лежит воздействие на управляемый объект с целью обеспечения в процессе движения требуемых от него свойств по заданному системой управления (СУ) закону. Существует два различных вида управления: программное, которое задается конкретной программой и не подразумевает коррекции движения, и управление с обратной связью, отличающееся изменением движения объекта в зависимости от его состояния. Преимуществом последнего способа управления является самокоррекция в процессе управления. Коррекция движения приводит к снижению воздействия параметрических возмущений.

Решение задач управления основывается на изменении систем управления для соответствия условиям функционирования управляемого объекта. Адаптивная СУ изменяет свои параметры в процессе работы согласно текущему состоянию объекта, чтобы обеспечивать выполнение цели управления за конечное время [9].

Расчет программной траектории движения (ПТД), управлений и управляющих воздействий (УВ) основывается на принципах построения адаптивных систем управления программной траекторией движения (СУПД) управляемых объектов.

Следующая система дифференциальных уравнений определяет состояние управляемого объекта в данный момент времени:

$$\dot{x}(t) = F[x(t), u(t), \theta] + \pi(t); x(t_0) = x_0; t \in [t_0, t_T] \quad (2.1)$$

где $u(t)$ – управление, m -мерная вектор-функция;

θ – m -мерный вектор параметров;

$\pi(t)$ – m -мерная функция внешних возмущений;

x_0 – состояние в начальный момент времени;

$T = t_T - t_0$ – время движения.

ПТД – это закон изменения состояния объекта во времени по заданным свойствам, являющийся решением уравнения (2.1) и представляемый вектор-функцией $x_p(t_0); t \in [t_0, t_T]$. Программным управлением называют допустимое управление $u_p(t)$, порождающее ПТД $x_p(t_0)$.

При известных θ и $\pi(t)$ движение объекта согласно (2.1) осуществляется программным управлением.

В случае, когда θ и $\pi(t)$ неизвестны, возможно изменение положения объекта нежелательном направлении, поэтому следует применять управление с обратной связью, которое будет учитывать дополнительную информацию в СУ при движении. В каждый момент времени t определяется управление $u[t, x(t)]$, на основании информации о текущем состоянии $x(t)$ объекта (2.1).

2.2 Основы построения программных траекторий движения генераторов и подсистем ЭЭС

Первым этапом при проектировании СУ программным движением является построение ПТД. Траектория движения ЭЭС в переходном режиме – это совокупность зависимостей параметров режима от времени, в математической теории трактуемая как траектория движения изображающей точки в многомерном вещественном пространстве. Координатами этой точки являются время и фазовые переменные (параметры режима), определяющие состояние ЭЭС.

При рассмотрении траектории движения отдельной части ЭЭС, например синхронного генератора, она будет выражена в виде подгруппы фазовых координат, изменяющихся во времени. Совокупность координат $x_y(t)$ рассматривается как подмножество управляемых параметров, для которого строится ПТД $x_p(t)$, используемая для расчета (или аппаратной реализации) противоаварийных управлений $u(t)$ [8].

Все множество $x(t)$ параметров режима, отражающих движение ЭЭС, включает как управляемые $x_y(t)$ параметры, отражающие движение управляемого объекта, так и неуправляемые $x_c(t)$.

Часть $x_c(t)$ выражает параметрическое описание динамической среды, в которой происходит управление объектом. При этом управление $u(t)$ воздействует на движение управляемого объекта и на динамическую среду через управляемый объект. Соответственно, управление формируется как объектом через ПТД, так и средой, через взаимосвязи с объектом и управляющим устройством (УУ).

В итоге, зависимости $x_p(t)$ выражаются табличном или аналитическом виде и приводят управляемые координаты к конечным условиям, что является результатом построения ПТД. При формировании этих зависимостей заданным необходимо учитывать специфику среды с тем, чтобы неуправляемые машины не теряли устойчивость во время динамического перехода ЭЭС.

При реализации обозначенных условий ПТД строится методом нахождения допустимого пути перевода точки, изображающей управляемый объект, из положения с координатами начала управления $x_{y1} = x_y(t_1)$ в окончательное положение $x_{yT} = x_y(t_T)$.

На рисунке 1 изображена ПТД для синхронного генератора.

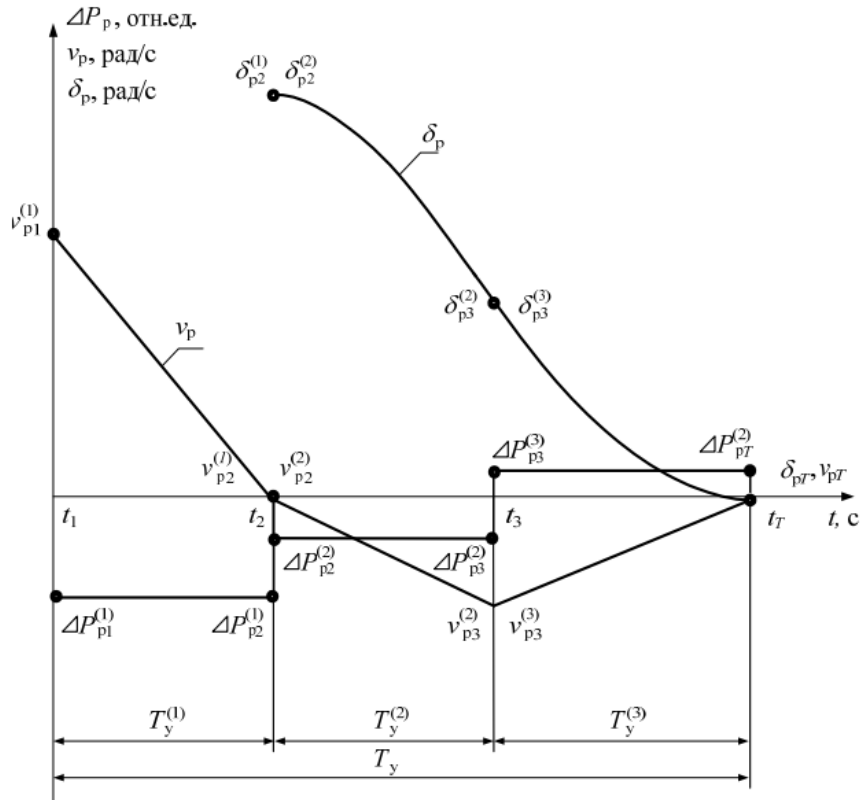


Рисунок 1 – ПТД для синхронного генератора

Момент времени t_1 является началом управления, интервал $[t_1, t_T]$ – интервалом управления с длительностью $T_y = t_T - t_1$. Цель управления – привести выбранный объект к нулевой потенциальной и кинетической энергии в конце интервала управления.

К параметрам процесса синхронизации относится небаланс мощностей на валу $\Delta P_y(t)$, угол вылета $\delta_y(t)$ и относительная скорость $v_y(t)$ ротора генератора с постоянной инерции T_j . Следующая подсистема дифференциальных уравнений определяет связь между управляемыми параметрами [10]:

$$\begin{cases} \dot{\delta}_y(t) = v_y(t); \\ \dot{v}_y(t) = \frac{\omega_0}{T_j} \cdot \Delta P_y(t). \end{cases} \quad (2.2)$$

Размерности управляемых параметров: t [с], T_j [с], $\delta_y(t)$ [рад], $v_y(t)$ [рад/с], $\Delta P_y(t)$ [отн.ед.].

Объектом управления является изображающая точка $x_y = colon[t, \Delta P_y, v_y, \delta_y]$, которой управлением $u(t)$ регулируется перемещение по ПТД $x_p = colon[t, \Delta P_p, v_p, \delta_p]$ на интервалах управления. Для построения ПТД можно использовать систему (2.2), так как $x_p(t)$ – это одна из траекторий движения объекта.

На трех подынтервалах достигаются различные цели. На первом – $[t_1, t_2]$ кинетическая энергия ротора генератора уменьшается до нуля. В конце этого подынтервала относительная скорость ротора становится нулевой ($v_{p2}^{(1)} = 0$), а относительный угол принимает произвольное значение $\delta_{p2}^{(1)}$. На втором $[t_2, t_3]$ и третьем $[t_3, t_T]$ подынтервалах относительный угол вылета ротора генератора уменьшается до нулевого значения. При управлении $u(t)$ в конце второго подынтервала достигается некоторая относительная скорость ($v_{p3}^{(2)} = extr$), которая уменьшается до нуля к концу третьего подынтервала ($v_{p4}^{(3)} = 0$), то есть к конечному моменту $t_T = t_4$ общего интервала управления. В этот же момент времени управление $u(t_T) = \Delta P(t_T) = 0$ снимается.

В итоге к концу интервала граничные значения всех параметров ПТД $x_y = colon[t_T, \Delta P_{pT}, v_{pT}, \delta_{pT}] = colon[t_T, 0, 0, 0]$ выполняются и удовлетворяют требованиям подключения генератора к электрической сети.

В таблице 1 приведены расчетные формулы для определения граничных и текущих значений параметров ПТД $\Delta P_y(t)$, $\delta_y(t)$, $v_y(t)$, полученные в результате решения подсистемы уравнений при заданных конечных значениях ПТД.

Таблица 1 – Расчетные формулы для определения параметров ПТД генератора

№	Подынтервалы управления и небалансы мощностей	Текущие и конечные значения угла на подынтервалах	Текущие и конечные значения относительной скорости на подынтервалах
1	Дано $T_y^{(1)}, t_1$; Определяются: $t_2 = t_1 + T_y^{(1)}$ $\Delta P_{p1}^{(1)} = -\frac{T_j \cdot \nu_{p1}^{(1)}}{\omega_0 \cdot T_y^{(1)}}$	В конце первого подынтервала управления измеряется реальное значение угла	$\nu_p = \nu_{p1}^{(1)} - K \Delta P_{p1}^{(1)} (t - t_1)$ $\nu_{p2}^{(2)} = \nu_{p1}^{(1)} - K \Delta P_{p1}^{(1)} T_y^{(1)}$
2	Дано $T_y^{(2)}$; Определяются: $t_3 = t_2 + T_y^{(2)}$ $\Delta P_{p2}^{(2)} = \frac{\delta_{pT} - \delta_{p2}^{(2)}}{0,5 K T_y^{(2)} (T_y - T_y^{(1)})}$	$\delta_p = \delta_{p2}^{(2)} + \nu_{p2}^{(2)} (t - t_2) +$ $+ 0,5 K \Delta P_{p2}^{(2)} (t - t_2)^2$ $\delta_{p3}^{(3)} = \delta_{p2}^{(2)} + \nu_{p2}^{(2)} T_y^{(2)} +$ $+ 0,5 K \Delta P_{p2}^{(2)} T_y^{(2)2}$	$\nu_p = \nu_{p2}^{(2)} - K \Delta P_{p2}^{(2)} (t - t_2)$ $\nu_{p3}^{(3)} = \nu_{p2}^{(2)} - K \Delta P_{p2}^{(2)} T_y^{(2)}$
3	Определяются: $T_y^{(3)} = T_y - T_y^{(1)} - T_y^{(2)}$ $\Delta P_{p3}^{(3)} = -\frac{\Delta P_{p2}^{(2)} \cdot T_y^{(2)}}{T_y^{(3)}}$	$\delta_p = \delta_{p3}^{(3)} + \nu_{p3}^{(3)} (t - t_3) +$ $+ 0,5 K \Delta P_{p3}^{(3)} (t - t_3)^2$ $\delta_{p3T}^{(3)} = \delta_{p3}^{(3)} + \nu_{p3}^{(3)} T_y^{(3)} +$ $+ 0,5 K \Delta P_{p3}^{(3)} T_y^{(3)}$	$\nu_p = \nu_{p3}^{(3)} - K \Delta P_{p3}^{(3)} (t - t_3)$ $\nu_{pT} = \nu_{p3}^{(3)} - K \Delta P_{p3}^{(3)} T_y^{(3)}$

Обозначения: $K = \frac{\omega_0}{T_j}$, ω_0 (рад/с²) – синхронная частота, T_j (с) – постоянная инерции ротора, t_1, t_2, t_3, t_4 (с) – граничные моменты времени подынтервалов управления, $T_y^{(i)}$ (с) – промежутки времени подынтервалов управления, ΔP_{01} (о. е.) – небаланс мощностей на интервале возмущения; $\Delta P_{pi}^{(i)}, \Delta P_{pi+1}^{(i)}$ – небалансы мощностей в граничные моменты времени подынтервалов управления, $\nu_p^i(t), \nu_{pi}^i, \nu_{pi+1}^i, \delta_{pi}^i, \delta_{pi+1}^i$ – текущие и граничные значения относительной скорости и угла на подынтервалах управления.

Данные расчетные формулы можно использовать для уточнения граничных значений параметров ПТД с целью вычисления желаемых значений угла и относительной скорости ротора генератора.

2.3 Расчет управлений при автоматическом повторном включении с контролем синхронизма

При построении системы адаптивной синхронизации в первую очередь определяются генераторы, которые будут выступать в роли управляемых объектов ЭЭС. Для рассматриваемой энергосистемы рассчитываются установившиеся режимы и управляющие динамические переходы, определяются исходное и финальное состояние, вид траекторий движения $x_y = colon[t, \Delta P_y, \nu_y, \delta_y]$ управляемых генераторов подвергается оценке и под эти траектории подбираются ПТД $x_p = colon[t, \Delta P_p, \nu_p, \delta_p]$. Количественные показатели параметров ПТД определяются при расчетах управлений в пять этапов [9].

Первый шаг заключается в определении движения энергосистемы до начала управления. Он необходим по причине наличия задержки ввода управляющего устройства в работу. За это время происходит изменение управляемых параметров от значений в начальный момент времени переходного режима $x_{y0} = x_y(t_0)$, до величин $x_{y1} = x_y(t_1)$, соответствующих начальному моменту управления. На этом этапе осуществляется интегрирование уравнений возмущенного движения.

Второй предполагает создание траектории движения $x_p(t)$ генераторов, подлежащих управлению, на основе определенных заранее динамических свойств ЭЭС и технических характеристик средств управления.

Третий этап включает в себя расчет кусочно-непрерывных управлений $u(t)$, обеспечивающих движение управляемых генераторов по ПТД.

На четвертом этапе проводится аппроксимация полученных на третьем этапе уравнений в зависимости от типа используемых управляющих устройств.

Последнее действие предполагает расчет переходного режима энергосистемы по рассчитанным управлениям. Если управления, определенные до четвертого этапа, являются плавными, то пятый этап пропускается, так как такие управления находятся при интегрировании уравнений переходного режима.

Таким образом, вычисление кусочно-непрерывных управлений $u(t)$ происходит на третьем этапе при решении уравнений движения ЭЭС, в которых параметры $x_y = colon[t, \Delta P_y, v_y, \delta_y]$ изменяются по предписанным программным траекториям движения $x_p = colon[t, \Delta P_p, v_p, \delta_p]$ [9].

Второй способ управления ЭЭС заключается в применении реактивного управляющего устройства поперечного включения. На всем интервале управления их режимные состояния определяются значениями активных и реактивных мощностей $P_{ui}(t), Q_{ui}(t), i = \overline{1, l}$, а также значениями углов $\delta_{ui}(t)$ и напряжений $U_{ui}(t), i = \overline{1, l}$ соответствующих узлов. Множество данных параметров можно обозначить как управление $u = colon[P_u, Q_u, U_u, \delta_u]$, с помощью которого достигается перемещение генераторов, требующих управления по сформированным на втором этапе программным траекториям.

Компоненты $P_u(t), Q_u(t), U_u(t), \delta_u(t)$ управления $u(t)$ являются l -мерными вектор-функциями управляющих параметров, где l – это количество управляющих узлов. Вектор-функции проводимостей $b_u(t), g_u(t)$ или сопротивлений $r_u(t), x_u(t)$, определяемых для управляющих устройств через компоненты вектор-функций $P_u(t), Q_u(t), U_u(t), \delta_u(t)$, также рассматриваются в качестве вектор-функций управляющих параметров.

Рассмотрим случай, когда ПТД формируется для одного генератора и управление $x_{u1} = E'_{u1}$ вычисляется для одного УУ ЭЭС ($l=1$).

Тогда система:

$$\psi_1(x_{ui}) = 0, i = \bar{1}, \bar{l} \quad (2.3)$$

в явном виде пишется как

$$\psi_1 = H_1(x_{u1}^2 + A_b^2 - 2A_b B_g x_{u1} + B_g^2 x_{u1}^2) + C'_g x_{u1} + C''_g (A_b - B_g x_{u1}) = 0, \quad (2.4)$$

где $H_1 = b_{1+n,1+n} - g_{1+n,1+n} \operatorname{tg} \varphi_{ui}$, $A_b = J'^{-1} A$, $B_g = J''^{-1} J'$,

$$C'_1 = \operatorname{tg} \varphi_{ui} \left(\sum_{j=1}^n I'_{1+n,j} + \sum_{j=n_l+1}^m I'_{1+n,j} \right) + \left(\sum_{j=1}^n I''_{1+n,j} + \sum_{j=n_l+1}^m I''_{1+n,j} \right),$$

$$C''_1 = \operatorname{tg} \varphi_{ui} \left(\sum_{j=1}^n I''_{1+n,j} + \sum_{j=n_l+1}^m I''_{1+n,j} \right) + \left(\sum_{j=1}^n I'_{1+n,j} + \sum_{j=n_l+1}^m I'_{1+n,j} \right).$$

При этом A, J', J'' – квадратные матрицы, а C'_1, C''_1 – вектора-функции.

Обозначив

$$a = H_1(1 + B_g^2), \quad (2.5)$$

$$b = C'_1 - 2H_1 A_b B_g - C''_1 B_g, \quad (2.6)$$

$$c = H_1 A_b^2 + C''_1 A_b. \quad (2.7)$$

Квадратное уравнение (2.4) в стандартной форме выражается как:

$$\psi_1 = a x_{ui}^2 + b x_{ui} + c = 0, \quad (2.8)$$

В случаях, когда $\det J'' \leq \varepsilon$, расчеты выполняются по уравнению

$$x_u = A'_b - B'_g y_u \quad (2.9)$$

Подставив (2.9) в выражение (2.4), после преобразований получим в явном виде квадратное уравнение:

$$\psi'_1 = a' y_{u1}^2 + b' y_{u1} + c' = 0, \quad (2.10)$$

где

$$a' = H_1(1 + B_g'^2), \quad (2.11)$$

$$b' = C'_1 - 2H_1 A'_b B'_g - C'_1 B'_g, \quad (2.12)$$

$$c' = H_1 A_b'^2 + C'_1 A'_b. \quad (2.13)$$

При этом $A'_b = J'^{-1} A$, $B'_g = J''^{-1} W''$.

Уравнения (2.4) и (2.10) подходят для вычисления управления в виде функций $E_u(t)$ в узлах присоединения устройств управления при помощи итерационных и аналитических расчетов.

В одномашинной энергосистеме параметры управляющего устройства по ПТД вычисляются без сложных расчётов, так как решение дифференциальных уравнений и итерационном расчете управлений не требуется, что облегчает проведение исследования [9].

2.4 Применение принципа адаптивности для решения задач автоматического повторного включения с контролем синхронизма

Управление объектом происходит через изменение его параметров по заданной траектории. Актуальный подход, применяемый для такого управления, основан на принципе адаптации системы управления к свойствам конкретного объекта, которые заранее не определены, и к условиям его работы. Адаптивная система управления производит самокоррекцию процесса управления по каналам связи и приводит к повышению надежности при возникновении возмущений [11].

В ходе работы адаптивная система управления изменяется под текущие свойства объекта и условия его работы, корректируя свои параметры или структуру в таком направлении, чтобы к моменту завершения переходного процесса адаптации цели управления были достигнуты.

Вариантом адаптивной системы управления является система с эталонной моделью. Для решения задачи синхронизации разделенных подсистем в паузе АПВ по программным траекториям движения в качестве эталонной модели применяется сама ПТД. В качестве цели управления принимаются условия точной синхронизации, а в качестве алгоритмов управления – алгоритмы синхронизации по ПТД [12].

2.5 Выводы по главе 2

Основная задача формирования ПТД при синхронизации подсистемы в паузе автоматического повторного включения состоит в переводе ротора генератора в конечное состояние (к моменту включения на параллельную работу с ЭЭС) с нулевыми значениями кинетической и потенциальной энергий относительного движения. Для достижения поставленной цели выделяют три подынтервала управления, на каждом из которых достигаются промежуточные конечные цели.

Глава 3. Общие принципы построения автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма

При разработке устройства АПВ с контролем синхронизма необходимо придерживаться определенных принципов построения:

1. Оснащение системы современным оборудованием – электронными измерительными трансформаторами с цифровыми выходами, выключателями, оснащенными контроллерами управления и др.

2. Применение коммуникационных каналов связи, которые должны осуществлять передачу информации о состоянии схемы, параметрах режима энергосистемы и информацию о возникших возмущениях.

Каналы связи должны обеспечивать получение точной информации, используя соответствующие протоколы передачи, и высокую пропускную способность.

3. Необходимо использовать современные цифровые технологии преобразования, передачи и обработки информации. Так, с помощью волоконно-оптических линий связи можно объединять локальные сети в одну общую, тем самым значительно сокращая число связей.

4. Устройство синхронизации, работающее в паузе АПВ, должно включать в себя все необходимые функции, позволяющие осуществлять эффективное включение на параллельную работу.

5. Все функциональные блоки должны размещаться в одном шкафу.

3.1 Алгоритм работы автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма

На рисунке 2 представлена принципиальная схема моделируемого энергорайона.

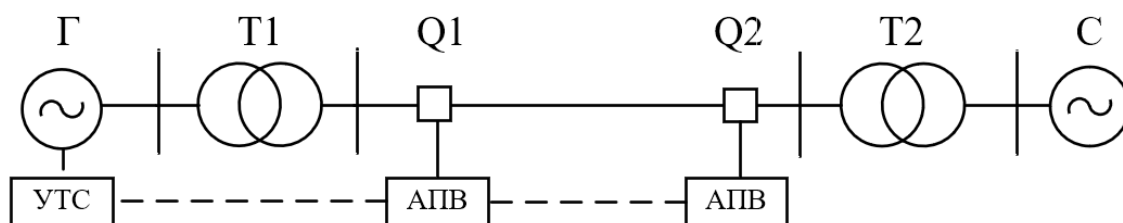


Рисунок 2 – Принципиальная схема исследуемого энергорайона

Сразу после возникновения возмущения и последующего отключения линии электропередач релейной защитой по факту отсутствия на ней напряжения вступает в работу автоматическое устройство синхронизации, которое совершает подведение параметров одной системы под параметры другой по условиям точной синхронизации для последующего успешного АПВ.

Точка синхронизации находится на шинах центра питания (выключатель Q1). Подгонка параметров, для осуществления синхронизации, происходит при помощи устройства точной синхронизации (UTC), которое установлено на генераторе в энергорайоне и соединено с измерительными устройствами посредством коммуникационных каналов связи. С помощью устройств телеизмерений, таких как МИП, БИМ, ЭНИП 2, происходит измерение параметров электрической сети с высокой точностью и быстродействием. Измерительные входы устройства подключаются непосредственно к трансформаторам напряжения как со стороны центра питания, так и со стороны энергорайона.

Рассмотрим основные функции и возможности многофункциональных измерительных преобразователей на примере МИП. Многофункциональные измерительные преобразователи осуществляют измерение и вычисление электрических параметров трехфазной сети.

Основными преимуществами МИП являются:

- высокое быстродействие (минимальный цикл измерения всех параметров составляет 20 мс);
- простота конфигурации по сети Ethernet;
- возможность подключения двух и более устройств по протоколу МЭК 60870-5-104;

- наличие аналоговых входов для измерения нормированных сигналов тока и напряжения.

Устройство способно вычислить более 30 параметров трехфазной электрической сети (частота напряжения, действующее значение напряжения, коэффициент мощности, активная, реактивная и полная мощности и др.) и преобразовать их в цифровой сигнал. С выходов устройства телеизмерения цифровые сигналы попадают в контроллер присоединения, который может быть выполнен на базе ARIS-2808. Контроллеры способны осуществлять сбор и обработку информации с большого количества многофункциональных измерительных приборов.

Контроллер, собранный на базе ARIS-2808, может выполнять следующие функции:

- сбор аналоговых и дискретных сигналов;
- формирование команд управления для аппаратов коммутации;
- блокировки и сигнализации;
- формирование дискретных выходных сигналов для цепей;

Контроллер ARIS-2808 поддерживает следующие протоколы обмена информацией: МЭК 60870-5-104, МЭК 60870-5-103, МЭК 60870-5-101 [13].

Сигнал с выхода контроллера поступает через коммутатор на межсетевой экран, который реализует защиту от несанкционированного доступа. Далее сигнал поступает в шкаф связи, в котором происходит модуляция цифрового сигнала в световой поток. Данное преобразование осуществляется за счет оптического мультиплексора – устройства для передачи одновременно несколько различных потоков данных по одному каналу. Мультиплексор обеспечивает передачу данных по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) на электростанцию. Далее осуществляется обратная процедура перехода сигнала, таким образом, измеренные напряжение и частота через контроллер присоединения поступают на измерительные входы (УТС). Оно определяет отклонения параметров от допустимых значений, формирует ПТД и выдает

управляющее воздействие на работу АРВ (регулирование тока возбуждения, тем самым изменение напряжения) и (или) АРЧВ (регулирование подачи пара на лопасти турбины, тем самым изменение частоты), если отклонения параметров больше установленных. Таким образом, когда все условия соблюдены, АПВ с контролем синхронизма подает сигнал на включение выключателя Q1.

На рисунке 3 представлен алгоритм работы АПВ с контролем синхронизма, который описан выше.

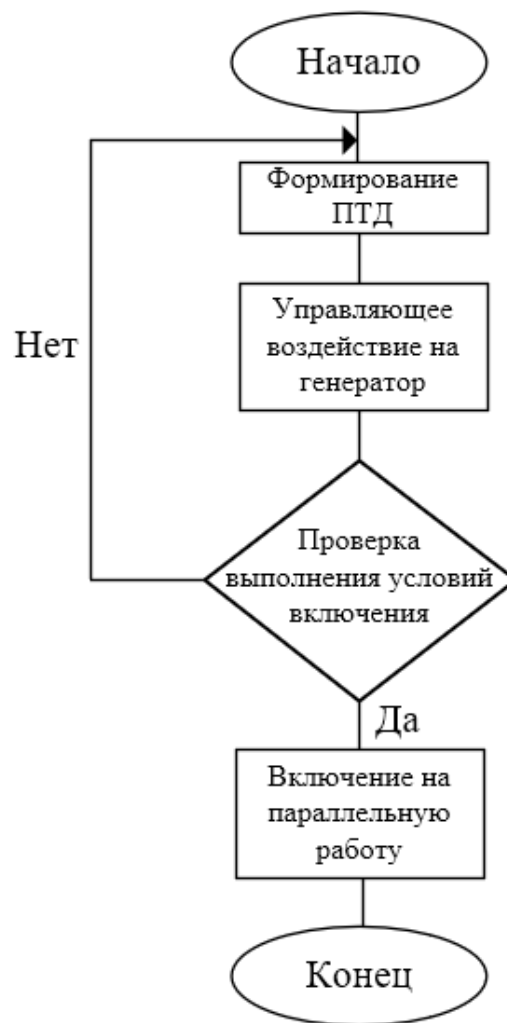


Рисунок 3 – Алгоритм работы АПВ с контролем синхронизма

Синхронизация считается успешной при следующих отклонениях в конце управления:

- частота скольжения f_s 0,05 – 0,2 Гц;
- разность напряжений синхронизируемых объектов около 5 – 10%;

– угол между векторами напряжений, синхронизируемых объектов, ± 30 градусов.

3.2 Структурно-функциональная схема автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма

На рисунке 4 изображена структурно-функциональная схема устройства АПВ с контролем синхронизма.

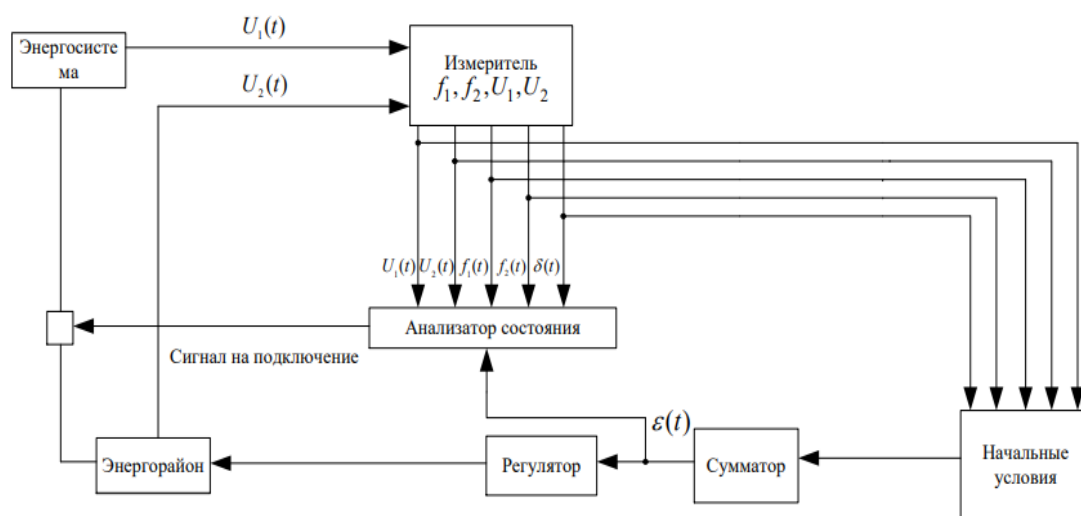


Рисунок 4 – Структурно-функциональная схема устройства АПВ с контролем синхронизма

Устройство работает следующим образом. После отключения ЛЭП действиями релейной защиты в паузе АПВ сигналы напряжения $U_1(t)$ и $U_2(t)$ поступают на вход измерителя. На его выходе происходит формирование сигналов, пропорциональных модулям и частотам напряжений, а также сигнала, пропорционального углу разности фаз между векторами $U_1(t)$ и $U_2(t)$. Далее они поступают на вход анализатора состояния, который отслеживает выполнение условий точной синхронизации.

Оценка параметров системы и расчет ПТД осуществляется в сумматоре, где также выполняется вычисления ошибки $\varepsilon(t)$ регулирования, которая затем поступает на вход регулятора. Он вырабатывает управляющее воздействие и выдает команду на генератор для изменения режимных параметров.

В анализаторе состояния определяется момент времени, когда величина отклонения $\varepsilon(t) \approx 0$, т.е. соблюдаются все требуемые условия, после чего выполняется подача команды на повторное включение выключателя и энергорайон включается на параллельную работу с энергосистемой.

3.3 Аппаратная реализация автоматического устройства автоматического повторного включения с контролем синхронизма

Устройство АПВ с контролем синхронизма содержит блок, входы которого связаны с измерительными трансформаторами напряжений в начале и конце линии, а выходы подключены к выключателям, связывающим энергосистему и энергорайон. Также по коммутационным каналам связи осуществляется передача сигналов на блок синхронизации, который включает в себя:

- измеритель частот, напряжений и угла разности фаз векторов напряжений;
- анализатор состояния, который проверяет, выполняются ли условия точной синхронизации, и если они выполняются, то подает сигнал на включение на параллельную работу;
- сумматор вычисляет отклонения от условий синхронизации, т.е. ошибку регулирования и формирует ПТД;
- регулятор вырабатывает управляющий сигнал на генератор;

3.4 Выводы по главе 3

Для успешной реализации устройства АПВ с контролем синхронизма необходимо соблюдать основные принципы, которые подробно разобраны в данной главе. Разработанная структурно-функциональная схема способна

реализовать процесс управления при синхронизации разделившихся энергосистем в паузе автоматического повторного включения, обеспечивая необходимые условия для включения на параллельную работу.

Глава 4. Моделирование процесса автоматического повторного включения с контролем синхронизма

4.1 Моделирование процесса автоматического повторного включения с контролем синхронизма

Для получения представления о процессах, протекающих в ЭЭС, а также для проверки правильного функционирования алгоритма управления, разработана модель исследуемой части энергосистемы в программном комплексе MATLAB SIMULINK (рисунок 5).

С помощью разработанной имитационной модели можно выполнить моделирование процесса синхронизации разделившихся энергосистем в паузе АПВ.

Модель рассматриваемой электрической сети состоит из следующих основных устройств:

- Синхронный генератор (Synchronous Machine pu Fundamental1);
- ЛЭП, параметры которой определены с помощью программы power_lineparam для провода марки AC 120/19 (Distributed Parameters Line);
- коммутационные устройства (Three-Phase Breaker) с внутренним таймером времени срабатывания и с внешним дискретным входом для приема сигнала;
- измерительный блок мгновенных значений тока и напряжения (Three-Phase V-I Measurement);

Моделирование процесса работы АПВ с контролем синхронизма завершается срабатыванием трехфазного выключателя, который включает на параллельную работу энергорайон и энергосистему.

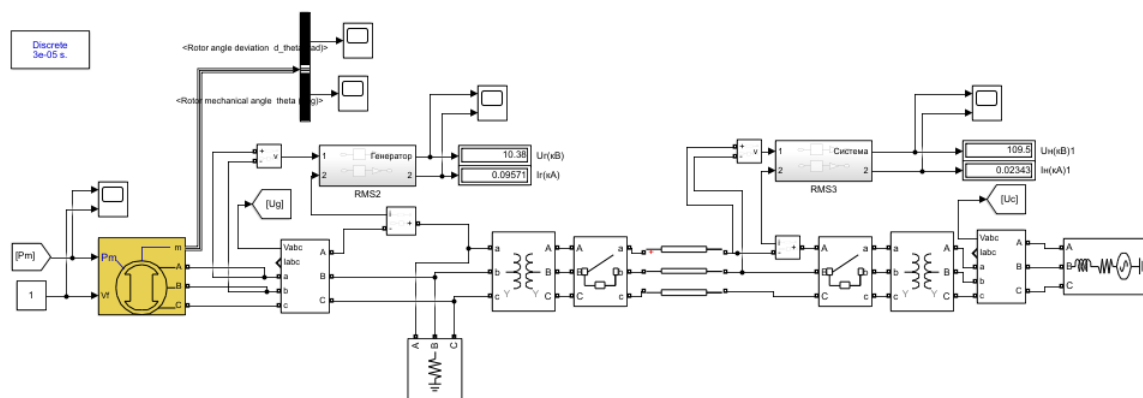


Рисунок 5 – Модель исследуемого энергорайона

Измерительное устройство представлено на рисунке 6.

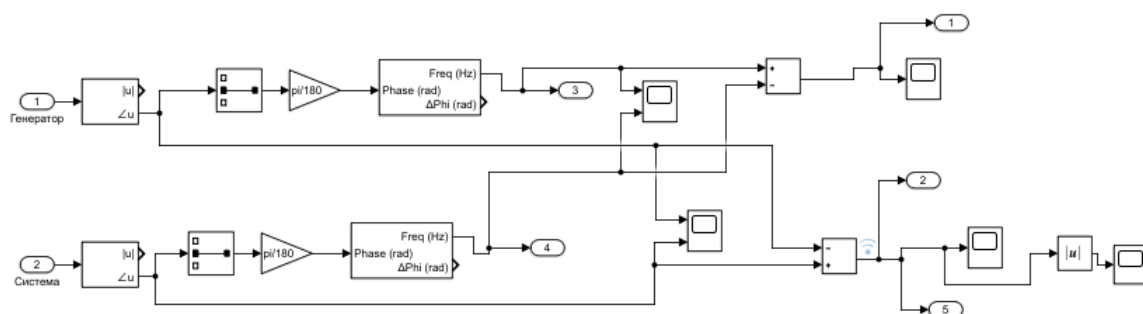


Рисунок 6 – Измерительное устройство

Схема состоит из четырех основных частей: входные данные, вычислительная часть, логическая часть и выходные данные. Входная часть представляет собой действующие значения напряжений и частот, синхронизируемых объектов, а также угол между векторами напряжений этих объектов. В вычислительных блоках происходит формирование ПТД. Затем осуществляется управляющее воздействие на генератор и происходит сравнение режимных параметров.

Если отклонение параметров не превышает допустимые, то есть условия синхронизации выполняются, то передается сигнал единица. Если все три условия не соблюдены, то подается сигнал на действие АРВ или/и АРЧВ.

В качестве входного сигнала АРЧВ используется отклонение частоты, поступающее на регулятор, на выходе которого сигнал усиливается с помощью блока Amplifier. В результате формируется управляющее воздействие на изменение механической мощности турбогенератора P_m . С помощью модели

АРЧВ возможно изменять нагрузку генератора, задаваясь определенными значениями мощности P_m . Блок Regulator задается передаточной функцией $\frac{k_a}{sT_a + 1}$. При моделировании использовались значения коэффициента усиления

$k_a = 1$, постоянная времени усилителя $T_a = 0,2$.

В качестве входного сигнала АРВ используется отклонение напряжения, который так же усиливается с помощью блока Amplifier, а затем поступает на возбудитель Exciter, который подает сигнал на обмотку возбуждения, тем самым изменяя напряжение. Возбудитель моделируется с коэффициентом $k_e = 1$ и постоянной времени $T_e = 0,025$.

В итоге, в блоке «И» (логическое умножение) объединяются все три сигнала (единицы). Подача сигнала на включение выключателя происходит только в том случае, если соблюдаются все условия синхронизации.

Результаты моделирования для случая дефицита мощности в энергорайоне в паузе АПВ представлены на рисунках 7 и 8.

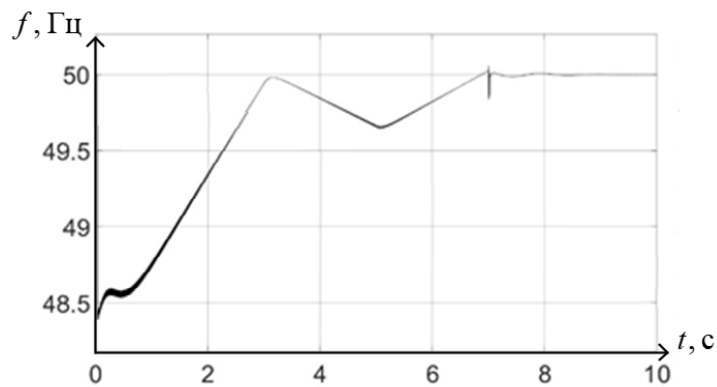


Рисунок 7 – Зависимость частоты от времени

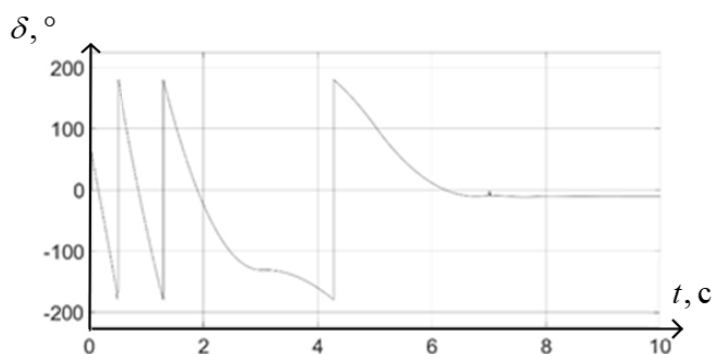


Рисунок 8 – Зависимость угла дельта от времени

Результаты моделирования для случая избытка мощности в энергорайоне в паузе АПВ представлены на рисунках 9 и 10.

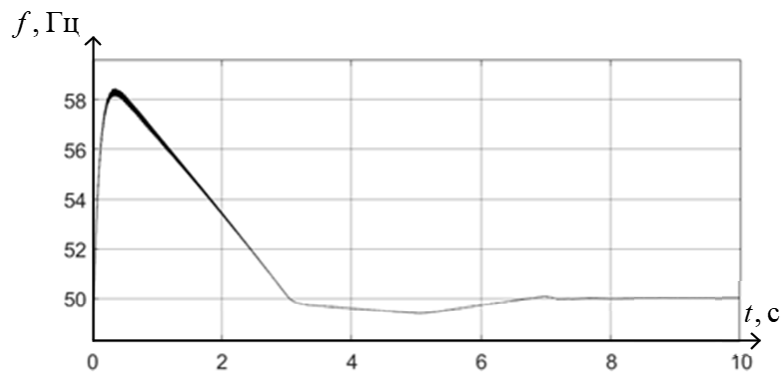


Рисунок 9 – Зависимость частоты от времени

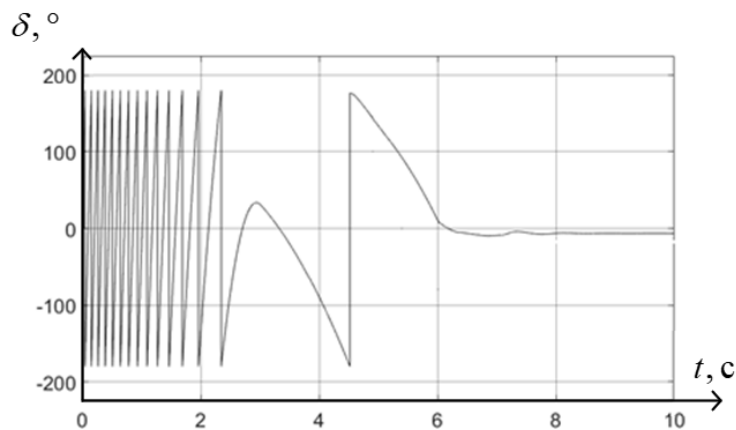


Рисунок 10 – Зависимость угла дельта от времени

Проанализировав графики можно сделать вывод о том, что условия синхронизации были соблюдены с высокой точностью. Это позволило произвести возобновление параллельной работы энергосистем работу без каких-либо колебаний режимных параметров. Как видно из графика изменения частоты в энергосистеме, время синхронизации составляет 7 секунд, что определяется техническими параметрами синхронного генератора.

4.2 Основные технические требования к устройству автоматического повторного включения с контролем синхронизма

Устройство автоматического повторного включения с контролем синхронизма должно отвечать следующим требованиям [14]:

- максимальное быстроедействие с целью сохранения устойчивой работы энергосистемы;
- нахождение в состоянии постоянной готовности и обеспечение работы во всех случаях отключения выключателя, кроме оперативного;
- безотказность и четкость работы алгоритмов на всем временном интервале процесса точной синхронизации в паузе АПВ;
- устойчивость качества измерений при функционировании в условиях протекающих переходных процессов;
- автоматический возврат в состояние готовности после успешного действия;
- запрет АПВ при действии ряда устройств противоаварийной автоматики (частотная разгрузка, автоматика отделения местных электростанций и пр.).

4.3 Выводы по главе 4

Исходя из полученных результатов моделирования, можно сделать вывод об успешности управления и возможности проведения процедуры синхронизации с применением предложенных алгоритмов в паузе автоматического повторного включения.

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках данной выпускной квалификационной работы разрабатывается концепция построения устройства АПВ с контролем синхронизма.

Целью данного раздела является оценка процесса разработки устройства АПВ с контролем синхронизма с точки зрения экономической эффективности и перспективности, а также ресурсоэффективности и конкурентоспособности проекта. В данном разделе будут определены показатели перспективности и успешности научно-исследовательской работы, а также рассмотрены планово-временные и материальные показатели процесса разработки и моделирования.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести анализ конкурентоспособности технического решения;
- Провести SWOT-анализ;
- Произвести планирование научно-исследовательских работ;
- Построить диаграмму Ганта;
- Рассчитать бюджет проекта;
- Определить ресурсоэффективность проекта.

5.1 Анализ конкурентоспособности технического решения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет определить на какие стороны научно-технического исследования (НТИ) стоит обратить особое внимание для их последующего улучшения, а также позволяет осуществить выбор наиболее оптимального варианта.

Для анализа были выбраны два варианта исполнения устройства АПВ с контролем синхронизма. Первый вариант – это использование устройства,

синхронизирующего разделившиеся энергосистемы в паузе АПВ, второй вариант – использование реле контроля синхронизма.

Модель экспертной оценки строится по техническим и экономическим критериям, представленным в таблице 2.

Таблица 2 – Оценочная карта сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Синхронизатор	Реле	$K_{\text{синх}}$	$K_{\text{реле}}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Безопасность	0,15	5	5	0,75	0,75
2. Надежность	0,2	5	4	1	0,8
3. Надежность ремонта собственными силами	0,01	5	5	0,05	0,05
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,17	5	4	0,85	0,68
5. Простота эксплуатации	0,07	5	5	0,35	0,35
6. Качество интеллектуального интерфейса	0,08	5	5	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	0,25	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	0,2	0,2
3. Цена	0,1	3	3	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	0,4	0,4
5. Наличие сертификации разработки	0,04	5	5	0,2	0,2
Итого	1	52	49	4,8	4,33

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, исходя из оценки конкурентоспособности видно, что в качестве наилучшим решением будет применение устройства синхронизации.

5.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательской работы. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды работы [15].

Посредством SWOT-анализа можно определить факторы и явления, которые могут повлиять на научно-исследовательскую работу. Анализ работы приведен в таблице 3.

В ходе проведения SWOT-анализа описаны сильные и слабые стороны НТИ, выявлены возможности и угрозы реализации работы, которые проявляются или могут появиться во внешней среде.

Таблица 3 – Матрица SWOT-анализа технического проекта

	<p>Strengths (Сильные стороны):</p> <p>С1. Высокая точность синхронизации;</p> <p>С2. Возможность управлять параметрами режима, а не подгонять их и ждать требуемых значений;</p> <p>С3. Сведение к минимуму критических ошибок при управлении;</p> <p>С4. Выявление и устранение недостатков системы на основе математической модели.</p>	<p>Weaknesses (Слабые стороны):</p> <p>Сл1. Требуется высокий уровень развития распределительных сетей;</p> <p>Сл2. Неопределенность относительно сроков внедрения результатов исследования;</p> <p>Сл3. Потребность в высококвалифицированном персонале для внедрения и обслуживания;</p> <p>Сл4. Возможность применения технологии на ограниченном числе ЛЭП.</p>
<p>Opportunities (возможности):</p> <p>В1. Повышение надежности электроснабжения потребителей в результате внедрения результатов работы;</p> <p>В2. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В3. Появление новой технологии АПВ с контролем синхронизма.</p>	<p>Внедрение результатов исследовательской работы позволит увеличить быстродействие АПВ загруженных магистральных линий. Высокая точность синхронизации повысит надежность электроснабжения потребителей и способствует распространению решения на рынке.</p>	<p>В процессе развития ЭЭС России, повышается число загруженных линий с двухсторонним питанием, что повышает потребность в АПВ с контролем синхронизма.</p>
<p>Threats (угрозы):</p> <p>У1. Неготовность рабочего персонала к новому подходу и системам;</p> <p>У2. Сокращение инвестиций в модернизацию;</p> <p>У3. Отсутствие возможности внедрения;</p> <p>У4. Отсутствие спроса на технологию.</p>	<p>Угрозы проекта связаны с временными трудностями. Отсутствие спроса предотвращается с помощью развития технологии и повышения ее конкурентоспособности.</p>	<p>Для реализации данной разработки необходимы финансовые и трудовые затраты персонала, что является сдерживающим фактором, на пути внедрения.</p>

Таким образом, наиболее весомым плюсом, выделенным в ходе SWOT-анализа, является высокая точность синхронизации и возможность управления параметрами режима, что приводит к повышению эффективности работы АПВ с контролем синхронизма. С помощью использования информационных систем фактор появления человеческой ошибки сводится к минимуму.

Рассматривая слабые стороны, можно сделать вывод, что наибольшее отрицательное влияние оказывает слабый уровень развития распределительных сетей.

Наиболее опасной угрозой внешней среды является сокращение инвестиций в модернизацию, что снижает вероятную возможность внедрения технического решения.

Главной возможностью внешней среды является использование инновационной структуры ТПУ.

5.3 Планирование работ по НТИ

Планирование НТИ осуществляется составлением календарных планов выполнения комплексов работ, определением денежных средств, необходимых для реализации работ, а также трудовых и материальных ресурсов.

В таблице 4 представлен результат поэтапного планирования работ, с закреплением исполнителя.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный этап	1.1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	1.2	Составление плана, подготовка литературы и справочных данных	Инженер
Исследовательская часть	2.2	Изучение информации об устройствах АПВ	Инженер
	2.3	Изучение информации об устройствах синхронизации	Инженер
	2.4	Изучение общей теории управления движением технических объектов	Инженер
Экспериментальная часть	3.1	Моделирование процесса автоматического повторного включения с контролем синхронизма	Инженер
	3.2	Предъявление основных технических требований к устройству	Инженер
	3.3	Создание отчета по проделанной работе	Инженер
	3.4	Согласование с руководителем по проекту	Руководитель
Внесение корректировок в разработки и исследования	4.1	Корректировка проекта	Инженер
Завершающий этап	5.1	Формирование комплекта документации	Инженер
	5.2	Проверка комплекта документации руководителем	Руководитель
	5.3	Сдача готового проекта	Инженер

Необходимо определить трудоемкость работ каждого участника научного исследования, ведь трудовые затраты составляют основную часть стоимости разработки.

Трудоемкость выполнения научного исследования носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.2)$$

где $t_{ожі}$ — ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ — минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ — максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Линейный график работ с продолжительностью представлен в таблице 5, где Р обозначает руководителя, а И — инженера.

Таблица 5 – Линейный график работ

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день			Исполнители
	t _{min}	t _{max}	t _{ож}	
1. Подготовительный этап				
1.1 Составление и утверждение технического задания	1	2	1	Р
1.2 Составление плана, подготовка литературы и справочных данных	3	10	6	И
2. Исследовательская часть				
2.1 Изучение информации об устройствах АПВ	5	15	9	И
2.2 Изучение информации об устройствах синхронизации	4	12	7	И
2.3 Изучение общей теории управления движением технических объектов	4	12	7	И
3. Экспериментальная часть				
3.1 Моделирование процесса автоматического повторного включения с контролем синхронизма	4	12	7	И
3.2 Предъявление основных технических требований к устройству	8	15	11	И
3.3 Создание отчета по проделанной работе	3	6	4	И
3.4 Согласование с руководителем по проекту	2	3	2	Р
4. Внесение корректировок в разработки и исследования				
4.1 Корректировка проекта	5	7	6	И
5. Завершающий этап				
5.1 Формирование комплекта документации	9	14	11	И
5.2 Проверка комплекта документации руководителем	3	5	4	Р
5.3 Сдача готового проекта	1	1	1	И
Итого	52	114	76	Р – 7 И – 69

Продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p определяется исходя из ожидаемой трудоемкости работ. T_p учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.3)$$

где T_{Pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

$$T_{Pi} = \frac{76}{1} = 76, \quad (5.4)$$

Таким образом, общая продолжительность НТИ составила 76 рабочих дней ($t_{раб}$).

Для графического представления графика выполнения работы используется диаграмма Ганта, которая является наиболее наглядной формой представления. Диаграмма Ганта является ленточным графиком, отражающим всю необходимую информацию по каждому этапу работ, например, дату начала этапа, временную протяжённость его выполнения, исполнителя работ. В связи с тем, что в диаграмме Ганта используются календарные дни, то необходимо перевести длительность каждого из этапов работы в календарные дни. Формула перевода:

$$t_{кал} = \frac{t_{раб}}{k_{пер}} = \frac{76}{0,66} = 116 \text{ дней}, \quad (5.5)$$

где $t_{кал}$ – общая продолжительность НТИ в календарных днях;

$t_{раб}$ – общая продолжительность НТИ в рабочих днях;

$k_{пер}$ – переводной коэффициент равный 0,66.

В рамках планирования технического проекта на основе линейного графика работ построена диаграмма Ганта, представленная на рисунке 11.

№	Начало	Окончание	Длительность, дней	Янв 2021	Февраль 2021			Март 2021			Апрель 2021	
				21-31	1-10	11-20	21-28	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20
1.1	30.01.2021	30.01.2021	1									
1.2	31.01.2021	05.02.2021	6									
2.1	06.02.2021	14.02.2021	9									
2.2	15.02.2021	21.02.2021	7									
2.3	22.02.2021	28.02.2021	7									
3.1	01.03.2021	07.03.2021	7									
3.2	08.03.2021	18.03.2021	11									
3.3	19.03.2021	22.03.2021	4									
3.4	23.03.2021	24.03.2021	2									
4.1	25.03.2021	30.03.2021	6									
5.1	31.03.2021	10.04.2021	11									
5.2	11.04.2021	14.04.2021	4									
5.3	15.04.2021	15.04.2021	1									

■ - Руководитель ■ - Инженер-дипломник

Рисунок 11 – Диаграмма Гантта

В данном пункте было проведено планирование НТИ. В результате планирования определено, что данную работу выполняют 2 сотрудника: руководитель проекта и инженер, а их деятельность не одновременна.

Таким образом, на основе диаграммы Гантта определена общая продолжительность работ, составляющая 76 рабочих дней без учета праздничных и выходных дней. С учетом переводного коэффициента из рабочих дней в календарные, продолжительность проекта составляет 116 календарных дней.

5.4 Расчет бюджета НТИ

Бюджет проекта включает в себя следующие группы затрат:

- 1) материальные затраты;
- 2) расходы на оплату труда (основная заработная плата и дополнительная заработная плата);
- 3) отчисления во внебюджетные фонды;

- 4) амортизация;
- 5) накладные расходы.

1. Расчет материальных затрат

Материальные затраты отражают стоимость ресурсов, полностью потребляемых в течение данного проекта.

Расчет материальных затрат приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет материальных затрат

Наименование	Ед. изм.	Кол-во материала, ед.	Цена за ед., руб.	Затраты, руб.
Бумага формата А4	лист	700	0,25	175
Ручка	шт.	5	25	125
Карандаши	шт.	3	10	30
Картридж ч/б	шт.	1	800	800
Итого:				1130

Исходя из данных таблицы 6 материальные затраты на выполнения проекта составили 1130 рублей.

2. Расходы на оплату труда

Расходы на оплату труда включают в себя заработную плату сотрудников, непосредственно участвующих в проведении исследования: руководитель и инженер. Расходы по заработной плате определяются в зависимости от трудоёмкости выполняемых работ, рассчитанной ранее, а также действующей системы окладов и тарифных ставок, для каждого исполнителя. Также в состав основной заработной платы входит премия, которая должна выплачиваться каждый месяц из средств фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату определяется по формуле:

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.6)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, тыс. руб.; $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, тыс. руб. (20% от основной); $З_{зн}$ – полная заработная плата, тыс. руб.

Месячный должностной оклад работника равен:

$$З_{м} = З_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) \cdot k_p, \quad (5.7)$$

где $З_{мс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент; k_{∂} – коэффициент доплат и надбавок; k_p – районный коэффициент.

Тарифная заработная плата $З_{мс}$ находится из произведения тарифной ставки работника (для инженера - 21760, для руководителя - 36800), на тарифный коэффициент k_m и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

Пример расчета заработной платы для инженера:

$$З_{м} = 21760 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 42432 \text{ руб.}, \quad (5.8)$$

$$З_{\partialн} = \frac{42432}{21} = 2020,57 \text{ руб.} \quad (5.9)$$

Результат расчета основной заработной платы приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$З_{м}$, руб.	$З_{\partialн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.	$З_{доп}$, руб.	Итого к выплате, руб.
Инженер	21760	42432	2020,57	69	139419	27883,8	167302,8
Руководитель	36800	71760	3417,14	7	23920	4784	28704
Итого:	196006,8 руб.						

Исходя из данных таблицы 7 затраты на основную заработную плату составили 196006,8 рублей.

3. Отчисления во внебюджетные фонды

Обязательные отчисления по установленным законодательством нормам в органы государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5.10)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2021 году равен – 30,2%.

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 196006,8 = 59194,05 \text{ руб.} \quad (5.11)$$

Таким образом, отчисления во внебюджетные фонды составили 59194,05 рублей.

4. Амортизационные отчисления

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

Рассчитаем амортизацию компьютерной техники ($I_{ам.комп}$). Для расчета амортизации оборудования воспользуемся формулой:

$$I_{ам.комп} = \frac{T_{исп.к}}{365} \cdot K_{комп} \cdot H_a, \quad (5.12)$$

где $T_{исп.к}$ – время использования компьютера;

$K_{комп}$ – стоимость компьютера;

H_a – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{cp}}, \quad (5.13)$$

где T_{cp} – срок службы компьютера, год.

$$I_{ам.комп} = \frac{76}{365} \cdot 50000 \cdot \frac{1}{7} = 1487,28 \text{ руб.} \quad (5.14)$$

Результаты расчета представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	К _{комп} , руб.	Т _{исп.к} , дней	И _{ам.комп.} , руб.
Персональный компьютер	50000	76	1487,28

Таким образом, исходя из данных, представленных в таблице 8, амортизационные отчисления на оборудование составляют 1487,28 рублей.

5. Накладные расходы

Накладные расходы – расходы, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 16% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{накл} = I_{мат} + ЗП + З_{внеб} + I_{ам.комп.} = 0,16 \cdot (1130 + 196006,8 + 59194,05 + 1487,28) = 41250,9 \text{ руб.} \quad (5.15)$$

Таким образом, накладные расходы составили 41250,9 рублей.

5.5 Формирование бюджета затрат на разработку проекта

Заключительным этапом экономической оценки проекта является формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта, так как уже

определены все затратные части проведения НИР. Общие расходы на проведение проекта приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Смета бюджета

Виды затрат	Сумма затрат, руб.	%
Материальные затраты	1130	0,38
Амортизация компьютерной техники	1487,28	0,5
Затраты на оплату труда	196006,8	65,54
Отчисления во внебюджетные фонды	59194,05	19,79
Накладные расходы	41250,9	13,79
Себестоимость проекта	299069,03	100

Таким образом, бюджет проекта составил 299069,03 рублей. Самой большой статьей расхода являются затраты на оплату труда исполнителей проекта, они составляют 65,54% от бюджета всего проекта.

5.6 Ресурсоэффективность

С помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определим ресурсоэффективность автоматизированной системы. Формула для его определения имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (5.16)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – балльная оценка проекта, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,25	5
3. Удобство в эксплуатации	0,20	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4
5. Энергоэкономичность	0,15	3
Итого	1,00	4,2

Для разрабатываемого проекта интегральный показатель ресурсоэффективности равен:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,35 \quad (5.16)$$

Таким образом, интегральный показатель ресурсоэффективности составил 4,35 из 5 возможных, что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта.

5.7 Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В рамках раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была доказана конкурентоспособность данного технического решения на основе анализа с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

2. С помощью SWOT-анализа определены сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности, а также проанализировано их взаимное влияние.

Исходя из анализа можно сделать вывод, что к сильным сторонам относится высокая точность синхронизации, возможность управлять параметрами режима, сведение к минимуму критических ошибок при управлении.

3. Установлено, что в календарных днях длительность работ для руководителя составляет 7 дней, а для инженера – 69 дней. На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это составление алгоритма расчёта для программы.

4. Бюджет проекта составил 299069,03 рублей. Самой большой статьёй расхода являются затраты на оплату труда исполнителей проекта, они составляют 65,54% от бюджета всего проекта.

5. Интегральный показатель ресурсоэффективности составил 4,35 из 5 возможных, что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта.